

MARTENSITIC STAINLESS STEEL FOR OIL WELL

Patent Number: JP2000192196
Publication date: 2000-07-11
Inventor(s): KONDO KUNIO
Applicant(s): SUMITOMO METAL IND LTD
Requested Patent: ☐ JP2000192196
Application Number: JP19980364923 19981222
Priority Number(s):
IPC Classification: C22C38/00; C22C38/58
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To allow this steel to exhibit corrosion resistance equal to or above that of duplex stainless steel even in an environment of carbon dioxide contg. hydrogen sulfide by allowing it to have a specified compsn. contg. C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, Co, sol.Al, N, O, Cu, W, and the balance Fe with inevitable impurities.

SOLUTION: This steel has a compsn. contg., by weight, 0.001 to 0.05% C, 0.05 to 1% Si, 0.05 to 2% Mn, $\leq 0.025\%$ P, $\leq 0.01\%$ S, 9 to 14% Cr, 3.1 to 7% Mo, 1 to 8% Ni, 0.5 to 7% Co, 0.001 to 0.1% sol.Al, $\leq 0.05\%$ N, $\leq 0.01\%$ O, 0 to 5% Cu, 0 to 5% W, and the balance Fe with inevitable impurities. The steel is formed into a slab by an ordinary ingot-making method or a continuous casting method, and the slab is hot-rolled to form into a product as it is, or, it is subjected to tempering or quenching and tempering after the hot rolling to form into a product. Preferably, the quenching is executed at 800 to 1,000 deg.C, and the tempering is executed at 500 to 700 deg.C.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-192196

(P2000-192196A)

(43) 公開日 平成12年7月11日 (2000.7.11)

(51) Int.Cl.⁷

C 2 2 C 38/00
38/58

識別記号

3 0 2

F I

C 2 2 C 38/00
38/58

テマコード* (参考)

3 0 2 Z

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平10-364923

(22) 出願日

平成10年12月22日 (1998. 12. 22)

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 近藤 邦夫

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住

友金属工業株式会社内

(74) 代理人 100103481

弁理士 森 道雄 (外1名)

(54) 【発明の名称】 袖井用マルテンサイト系ステンレス鋼

(57) 【要約】

【課題】 高価な2相ステンレス鋼に勝る耐硫化水素腐食性を有するマルテンサイト系ステンレス鋼を提供する。

【解決手段】 重量%で、C:0.001~0.05%、Si:0.05~1%、Mn:0.05~2%、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:9~14%、Mo:3.1~7%、Ni:1~8%、Co:0.5~7%、sol. Al:0.001~0.1%、N:0.05%以下、O:0.01%以下、Cu:0~5%、W:0~5%を含有し、残部がFeおよび不可避不純物からなるマルテンサイト系ステンレス鋼。

【特許請求の範囲】

【請求項1】重量%で、C:0.001~0.05%、Si:0.05~1%、Mn:0.05~2%、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:9~14%、Mo:3.1~7%、Ni:1~8%、Co:0.5~7%、sol. Al:0.001~0.1%、N:0.05%以下、O(酸素):0.01%以下、Cu:0~5%、W:0~5%を含有し、残部がFeおよび不可避不純物からなる炭酸ガス腐食性と耐硫化物応力割れ性に優れた油井用マルテンサイト系ステンレス鋼。

【請求項2】さらに、重量%で、V:0.001~0.5%、Nb:0.001~0.5%、Ti:0.001~0.5%およびZr:0.001~0.5%のうちから選ばれた1種または2種以上を含有する炭酸ガス腐食性と耐硫化物応力割れ性に優れた請求項1に記載の油井用マルテンサイト系ステンレス鋼。

【請求項3】さらに、重量%で、Ca:0.0005~0.05%、Mg:0.0005~0.05%およびREM:0.0005~0.05%のうちから選ばれた1種または2種以上を含有する炭酸ガス腐食性と耐硫化物応力割れ性に優れた請求項1または請求項2に記載の油井用マルテンサイト系ステンレス鋼。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、炭酸ガス腐食性と耐硫化物応力割れ性に優れたマルテンサイト系ステンレス鋼に関し、より詳しくは炭酸ガスや硫化水素ガスを含む原油をくみ出す油井管やその原油を輸送するフローラインやラインパイプ用の鋼管、油井井戸坑底機器およびバルブなどに用いて好適な油井用マルテンサイト系ステンレス鋼に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、石油または天然ガスを採取するための井戸の環境がますます過酷なものになっており、地中から原油を掘り出す油井管や、腐食を抑制する処理を行わずに原油を輸送する際の配管の腐食が、大きな問題となっている。

【0003】従来、炭酸ガスを多量に含む油井用には、一般の炭素鋼とインヒビターを併用したり、13Cr系マルテンサイト系ステンレス鋼が使用されてきた。また、炭酸ガスだけでなく、例えば、pHが3で、微量(0.05atm以下)の硫化水素を含む油井では、炭素含有量を低減したスーパー13Cr鋼と称される改良鋼が開発され、その使用が拡大してきている。

【0004】ところが、上記と同様、pHが3で、より多く(0.05atm超、1atm以下)の硫化水素を含む環境では、上記の改良鋼を含めて使用可能なマルテンサイト系ステンレス鋼がなく、高価な2相ステンレス鋼を使用しなければならなかった。しかし、2相ステンレス鋼は、フェライト相とオーステナイト相の2相組織

を有していることから、選択腐食が発生したり、油井の収量を増加させるために酸を注入するアシダイジングにおける腐食速度がマルテンサイト系ステンレス鋼に比べて著しく大きいなどの問題があり、適用範囲が限られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上述の実状に鑑みなされたもので、その目的は、上記のスーパー13Cr鋼よりも耐食性に優れ、例えば、pHが3で、より多く(0.05atm超、1atm以下)の硫化水素を含む炭酸ガス環境下においても、2相ステンレス鋼と同等以上の耐食性、具体的には炭酸ガス腐食性と耐硫化物応力割れ性を有する油井用マルテンサイト系ステンレス鋼を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記の油井用マルテンサイト系ステンレス鋼にある。

【0007】重量%で、C:0.001~0.05%、Si:0.05~1%、Mn:0.05~2%、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:9~14%、Mo:3.1~7%、Ni:1~8%、Co:0.5~7%、sol. Al:0.001~0.1%、N:0.05%以下、O(酸素):0.01%以下、Cu:0~5%、W:0~5%を含有し、残部がFeおよび不可避不純物からなる炭酸ガス腐食性および耐硫化物応力割れ性に優れた油井用マルテンサイト系ステンレス鋼。

【0008】上記本発明の油井用マルテンサイト系ステンレス鋼は、上記の成分以外に、重量%で、V:0.001~0.5%、Nb:0.001~0.5%、Ti:0.001~0.5%およびZr:0.001~0.5%のうちから選ばれた1種または2種以上、さらには、Ca:0.0005~0.05%、Mg:0.0005~0.05%およびREM:0.0005~0.05%のうちから選ばれた1種または2種以上を含有するものであってもよい。

【0009】上記の本発明は、下記の知見に基づいて完成させた。

【0010】微量の硫化水素を含む炭酸ガス環境下におけるマルテンサイト系ステンレス鋼の耐食性は、CrとMoの含有量で整理でき、特にMo含有量の影響が大きく、Mo含有量を多くすれば耐食性が大幅に向上する。

【0011】しかし、2相ステンレス鋼が有する2相混合組織に起因する選択腐食をさけるために、マルテンサイト系ステンレス鋼においても、その組織をマルテンサイト単相組織狙いにする場合には、Mo含有量をむやみに多くすることはできない。これは、Moがフェライト生成元素であるので、Mo含有量の増加に伴ってNiなどのオーステナイト生成元素の添加が必要になるが、Niなどの添加は高温相であるオーステナイトがマルテン

10

20

30

40

50

サイト変態する温度（マルテンサイト変態が開始する温度＝ M_s 点）を低下させるので、マルテンサイトが生成しにくくなるためである。

【0012】すなわち、 M_s 点が低下し、室温近傍または室温以下になると、マルテンサイト変態が起こりなくなり、残留オーステナイト相を多量に含む組織になる。この残留オーステナイト相を多量に含む鋼は、強度、特に降伏強度が低下して油井用鋼として使用できない。また、わずかの加工で強度が大幅に変化するために、製造上均一な強度の鋼材が得られない。

【0013】したがって、耐食性を改善するために Mo 含有量を多くする場合には、マルテンサイト単相組織を確保するためにオーステナイト生成元素を添加し、その上で M_s 点を低下させずに従来鋼なみに維持させる工夫が必要になる。

【0014】このため、本発明者らは、多くの元素を対象に、 M_s 点を低下させないだけでなく、その他の諸性質、特に耐食性に大きな悪影響を及ぼさないオーステナイト生成元素を見いだすために、鋭意実験研究を行った。

【0015】その結果、 Co はオーステナイト生成元素であり、 M_s 点を低下させないばかりか若干上昇させ、しかもその他の諸性質に大きな悪影響を及ぼさないことが判明した。

【0016】そこで、各元素の配分と相バランス、 M_s 点のコントロールを考慮して成分設計を行った結果、上記の化学組成を有する鋼が、例えば、 pH が3で、より多く（0.05atm超、1atm以下）の硫化水素を含む炭酸ガス環境下において2相ステンレス鋼と同等以上の耐食性を発揮し、しかも所望の強度が安定して確保できることを知見した。

【0017】なお、 Co と Mo を含む低 C マルテンサイト系ステンレス鋼としては、例えば、特公昭59-15978号公報、特開平4-268018号公報、同4-268019号公報および同8-246107号公報に示される鋼がある。しかし、これらの公報に示されている鋼は、いずれも Mo 含有量が3%以下であるので、その耐食性は2相ステンレス鋼よりも劣っている。また、 Co は、最大で4.0%までとされているため、これらの鋼では本発明が対象としている課題を解決することができない。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明において、鋼の化学組成を上記のように限定した理由について詳細に説明する。なお、以下において、「%」は「重量%」を意味する。

【0019】 C ： C の含有量が0.05%を超えると、焼入れままの硬度が高くなり、高温で焼戻しても強度が下がり、耐硫化物応力割れ性が低下する。特に、溶接して使用する場合には、溶接熱影響部の硬度上昇が著し

く大きくなり、靱性、耐食性が低下するので、その上限を0.05%と定めた。なお、 C 含有量は低い方がよく、特に溶接までの熱影響部の靱性を確保するには低ければ低いほどよいが、過度の低減はコスト上昇を招く。このため、経済的に製造が容易なことを考慮し、その下限を0.001%とした。好ましい C 含有量の範囲は0.001～0.025%、より好ましい範囲は0.001～0.01%である。

【0020】 Si ： Si は鋼の脱酸に必要な元素であるが、フェライト生成元素であるので添加しすぎると δ フェライトが生成して耐食性、熱間加工性が低下する。しかし、十分な脱酸効果を得るためには0.05%以上の含有量が必要である。一方、1%を超えて含有量させると、フェライトが生成しやすくなる。したがって、 Si 含有量は0.05～1%とした。

【0021】 Mn ： Mn は、上記の Si と同様に、鋼の脱酸剤として必要であり、また熱間加工性を向上させる作用を持つ元素である。しかし、その含有量が0.05%未満ではそれらの効果が十分に発揮されない。一方、2%を超えて含有させると、靱性が低下する。このため、 Mn 含有量は0.05～2%とした。

【0022】 P ： P は不可避不純物として鋼中に存在し、耐食性、靱性を低下させる。十分な耐食性、靱性を確保するためにはその含有量を0.025%以下にする必要がある。なお、 P 含有量は低ければ低いほどよい。

【0023】 S ： S は、上記の P と同様に、不可避不純物として鋼中に存在し、熱間加工性、耐食性、靱性を低下させる。十分な熱間加工性、耐食性、靱性を確保するためにはその含有量を0.01%以下にする必要がある。なお、 S 含有量は、上記の P と同様に、低ければ低いほどよい。

【0024】 Cr ： Cr は、マルテンサイト系ステンレス鋼の耐食性、なかでも耐炭酸ガス腐食性を向上させる成分であるが、その含有量が9%未満では効果が得られない。一方、14%を超えて含有させると、後述する Co を添加しても M_s 点が低下して残留オーステナイト相が生成し、焼入れままでマルテンサイト単相とすることが難しくなる。したがって、 Cr 含有量は9～14%とした。なお、 Cr 含有量は高ければ高いほど耐炭酸ガス腐食性が向上するので、好ましくは10.5～14%である。

【0025】 Mo ： Mo は最良の耐硫化物応力割れ性を確保するうえで重要な元素であり、その含有量を3.1%以上とすることによって、マルテンサイト系ステンレス鋼としては最高の耐硫化物応力割れ性が確保され、その含有量を増せば増すほど炭酸ガス環境下での局部腐食性、耐硫化物応力割れ性が向上する。しかし、 Mo は強力なフェライト生成元素であり、その含有量が7%を超えると、後述する量の Co を添加しても δ フェライトが生成するとともに、 M_s 点が低下するようになる。このた

め、Mo含有量は3.1~7%とした。

【0026】Ni: Niは、本発明の低C-高Cr-高Moのマルテンサイト系ステンレス鋼において、 δ フェライトの生成を抑制するうえで後述するCoとともに最も重要な元素である。しかし、その含有量が1%未満では、後述のCoを上限值いっぱいまで含有させても δ フェライトの生成を抑制できない。一方、8%を超えて含有させると、Ms点が低下して残留オーステナイト相が生成するようになる。したがって、Ni含有量は1~8%とした。なお、Niには、連続铸造時のモールド寸法や造塊時のインゴット寸法が大きくなればなるほど偏析しやすいフェライト生成元素の偏析を抑制する作用あり、この効果を得るためにはその含有量を3~8%、より望ましくは5~8%とするのがよい。

【0027】Co: Coは、高温でオーステナイト相を安定化させるとともに、Ms点を低下させない元素であり、本発明の低C-高Cr-高Moのマルテンサイト系ステンレス鋼の高温での δ フェライトの生成を抑制し、冷却したときに残留オーステナイトを生成させないために必要不可欠である。しかし、その含有量が0.5%未満ではその効果が十分でなく、高価な元素であるので製造コストを考慮して7%を上限とした。

【0028】sol. Al: Alは鋼の脱酸剤として必要な元素だが、その含有量がsol. Alで0.001%未満では十分な効果が得られない。一方、0.1%を超えて含有させると、強力なフェライト生成元素であることから、 δ フェライトが生成するようになる。したがって、sol. Al含有量は0.001~0.1%とした。

【0029】N: Nは不可避の不純物として鋼中に存在し、その含有量が0.05%を超えると、焼入れのままの硬度が高くなり、高温で焼戻しても強度が下がらず、耐硫化物応力割れ性が低下する。特に、溶接して使用する場合には、溶接熱影響部の硬度上昇が著しく大きくなり、靱性、耐食性が低下するので、その上限を0.05%と定めた。なお、N含有量は低ければ低いほど、溶接ままでの熱影響部の靱性が良好になる。好ましい上限は0.025%以下、より好ましい上限は0.010%である。

【0030】O(酸素): Oは、上記のNと同様に、不可避の不純物として鋼中に存在し、その含有量が0.01%を超えると、靱性、耐食性が低下するので、その上限を0.01%とした。

【0031】Cu: Cuは添加しなくてもよいが、添加すれば耐炭酸ガス腐食性、耐硫化物応力割れ性が向上するので、必要に応じて添加することができる。その効果は0.5%以上で顕著になるが、5%を超えて含有させると熱間加工性が劣化して製造歩留まりが低下する。したがって、添加する場合のCu含有量は0.5~5%とするのがよい。

【0032】W: Wは添加しなくてもよいが、添加すれば炭酸ガス環境下での局部腐食性が向上するので、必要に応じて添加することができる。その効果は0.5%以上で顕著になるが、5%を超えて含有させると、 δ フェライトの生成とMs点の低下が起こる。したがって、添加する場合のW含有量は0.5~5%とするのがよい。

【0033】本発明の鋼は、上記の化学組成を有すれば十分であるが、下記の元素を含むのもであってもよい。

【0034】V、Nb、Ti、Zr: これらの元素は、いずれもCを固定し、強度のばらつきを小さくする作用を有するので、必要に応じて、これらのうちから選んだ1種または2種以上を添加することができる。しかし、いずれの元素もその含有量が0.001%未満では前記の効果が得られない。一方、いずれの元素も0.5%を超えて含有させると、 δ フェライトが生成して熱間加工性が低下する。したがって、添加する場合のこれらの元素の含有量は、いずれも0.001~0.5%とした。

【0035】Ca、Mg、REM: これらの元素は、いずれも鋼の熱間加工性を向上させるほか、铸造時のノズルづまりを防止する作用を有するので、必要に応じて、これらのうちから選んだ1種または2種以上を添加することができる。しかし、いずれの元素もその含有量が0.0005%未満では前記の効果が得られない。一方、いずれの元素も0.05%を超えて含有させると、粗大な酸化物が生成し、孔食の起点となって耐食性が低下する。したがって、添加する場合のこれらの元素の含有量は、いずれも0.0005~0.05%とした。

【0036】上記の化学組成を有する本発明の油井用マルテンサイト系ステンレス鋼は、転炉や電気炉などの製鋼炉を用いて溶製し、必要に応じてその溶湯をAOD炉やVOD炉などの精錬炉を用いて精錬し、次いで造塊法や連続铸造法で所定の大きさの鑄片とし、この鑄片を熱間圧延して所定の製品形状に仕上げ、そのまま製品とするか、圧延後に焼戻しまたは焼入れ焼戻し処理を施すことで製造できる。その際、特別な処理は不要で、常法に従って製造すればよい。

【0037】ただし、焼入れする場合の温度は800~1000℃、焼戻しする場合の温度は500~700℃とするのが好ましく、この場合にはマルテンサイト単相組織または少量の残留オーステナイトが存在するにすぎないマルテンサイト組織の確保が可能になるほか、強度のばらつきが可及的に小さくなる。

【0038】

【実施例】表1と表2に示す化学組成を有する40種類の鋼を溶製し、得られた鑄片を熱間鍛造、熱間圧延して厚さ12mm、幅120mm、長さ400mmの試験用板材を作製した。

【0039】次いで、得られた板材に、850℃からの焼入れと640℃での焼戻し処理を施した後、各鋼からなる2枚の板材同士を圧延長手方向に平行に並べて突き

合わせ、その突き合わせ部を25Cr系の2相ステンレス鋼からなる溶接材料を用いてガス・タングステン・アーク溶接し、溶接継手を作製した。この時、突き合わせ部には、角度が45°の開先加工を施した。また、溶接*

*は、入熱量12~15kJ/cm²の条件で行った。

【0040】

【表1】

表 1

区分	No	化 学 組 成 (重量%)														その他
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Co	Mo	W	sol. Al	N	O	
本発明例	1	0.006	0.34	0.76	0.011	0.001	12.1	3.5	-	4.7	4.9	-	0.015	0.002	0.004	-
	2	0.007	0.34	0.61	0.012	0.001	11.3	1.2	-	6.9	4.1	-	0.013	0.005	0.003	-
	3	0.006	0.31	0.39	0.015	0.001	12.5	3.0	-	6.3	4.8	-	0.012	0.004	0.003	-
	4	0.016	0.34	1.95	0.011	0.001	11.8	3.0	-	5.1	5.3	-	0.019	0.005	0.003	-
	5	0.008	0.24	0.51	0.015	0.001	11.7	5.8	-	3.9	4.2	-	0.016	0.002	0.003	-
	6	0.008	0.71	0.19	0.011	0.001	11.5	5.2	1.5	4.7	5.6	-	0.011	0.005	0.003	-
	7	0.010	0.24	0.55	0.012	0.001	12.4	4.1	-	5.6	3.7	2.3	0.018	0.006	0.005	-
	8	0.010	0.56	0.34	0.012	0.001	11.1	5.5	2.0	4.3	3.6	2.0	0.019	0.005	0.004	-
	9	0.004	0.63	0.40	0.011	0.001	13.1	5.0	-	3.1	4.3	-	0.019	0.006	0.003	V:0.05, Ti:0.08
	10	0.011	0.35	0.67	0.008	0.001	11.5	5.5	-	5.2	6.1	-	0.017	0.006	0.002	V:0.04, Ti:0.03
	11	0.009	0.25	0.57	0.010	0.001	12.7	4.0	-	5.0	4.1	-	0.012	0.001	0.004	Nb:0.02, Zr:0.12
	12	0.012	0.34	0.47	0.012	0.001	11.9	3.0	-	6.5	4.9	-	0.011	0.004	0.005	Ti:0.015
	13	0.019	0.65	1.27	0.015	0.001	12.5	4.8	-	6.8	5.8	-	0.010	0.002	0.003	Zr:0.22
	14	0.026	0.24	0.20	0.005	0.001	12.5	1.9	4.2	4.4	4.3	-	0.011	0.002	0.003	V:0.06, Zr:0.09
	15	0.025	0.59	1.08	0.016	0.001	13.2	4.5	-	5.8	3.9	1.2	0.013	0.006	0.005	Nb:0.025, Ti:0.018
	16	0.015	0.39	0.69	0.015	0.001	11.5	2.9	1.8	3.7	3.4	2.3	0.018	0.004	0.004	Ti:0.012
	17	0.010	0.29	1.10	0.015	0.001	11.5	2.8	-	5.0	4.2	-	0.016	0.003	0.004	Ca:0.0025
	18	0.012	0.25	0.58	0.011	0.001	12.7	4.8	-	3.1	4.3	-	0.017	0.009	0.004	Ca:0.0018, Mg:0.0012
	19	0.025	0.31	0.91	0.015	0.001	10.2	3.1	-	6.6	5.7	-	0.011	0.009	0.002	Ce:0.0021
	20	0.008	0.29	0.81	0.016	0.001	12.4	3.8	-	5.5	4.6	-	0.015	0.005	0.005	Mg:0.0037

注) 残部は、Feおよび不可避免的不純物である。

【0041】

※ ※【表2】

表 2

区分	No.	化 学 組 成 (重量%)															その他
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Co	Mo	W	sol. Al	N	O		
本発明例	21	0.042	0.29	0.60	0.014	0.001	12.7	5.7	-	6.7	6.1	-	0.016	0.006	0.002	Ca:0.0014, La:0.0021	
	22	0.001	0.45	0.33	0.014	0.001	12.6	5.7	0.7	2.4	5.2	-	0.020	0.005	0.004	Ce:0.0044	
	23	0.017	0.35	0.13	0.009	0.001	12.5	2.1	-	3.9	4.2	0.9	0.013	0.006	0.005	Mg:0.0027	
	24	0.007	0.63	1.08	0.010	0.001	12.3	5.8	1.3	2.5	3.3	2.3	0.015	0.008	0.004	Ca:0.0032	
	25	0.005	0.35	0.38	0.007	0.001	12.3	5.5	-	3.2	4.8	-	0.014	0.009	0.004	Ti:0.017, Ca:0.0014	
	26	0.019	0.76	0.15	0.015	0.001	12.7	4.9	-	3.7	4.9	-	0.014	0.008	0.009	Ti:0.012, Ca:0.0014	
	27	0.016	0.31	0.58	0.016	0.001	11.2	5.0	-	3.7	5.5	-	0.012	0.001	0.004	Ti:0.017, Ca:0.0011, Mg:0.0013	
	28	0.018	0.45	0.48	0.013	0.001	10.3	5.7	-	2.5	4.1	-	0.011	0.009	0.003	V:0.07, Ti:0.087, Mg:0.0027	
	29	0.026	0.34	0.59	0.022	0.001	12.1	5.7	-	4.6	5.7	-	0.013	0.007	0.005	Ti:0.014, Ca:0.0009	
	30	0.015	0.05	1.09	0.015	0.001	12.5	2.1	2.2	4.7	4.6	-	0.017	0.005	0.003	Ti:0.019, Ca:0.0024	
従来例	31	0.006	0.31	0.25	0.004	0.001	11.8	4.1	-	5.4	3.7	2.1	0.010	0.011	0.004	Zr:0.027, Ca:0.0020	
	32	0.012	0.24	0.67	0.015	0.001	9.5	3.0	0.7	5.9	4.5	1.3	0.014	0.002	0.004	Ti:0.012, Nb:0.011, Ce:0.0026	
	33	0.016	0.11	1.11	0.024	0.001	*22.2	5.0	-	*	*2.6	-	0.014	*0.130	0.004	Ca:0.0019	
	34	0.027	0.24	1.15	0.012	0.001	*21.9	5.2	-	*	*2.4	-	0.011	*0.132	0.003	Ca:0.0023	
	35	0.030	0.71	1.11	0.020	0.001	*20.0	4.9	-	*	*2.3	-	0.012	*0.123	0.005	Ca:0.0027	
	36	0.006	0.91	0.25	0.015	0.001	12.0	5.5	-	*	*2.1	-	0.011	0.007	0.004	Ca:0.0009	
	37	0.016	0.33	1.21	0.013	0.001	10.1	5.9	-	*	*6.5	-	0.011	0.007	0.005	-	
	38	0.008	0.17	1.08	0.011	0.001	13.5	*9.9	-	4.6	5.7	-	0.018	0.002	0.004	Ce:0.005	
	39	*0.075	0.38	1.09	0.009	0.001	12.2	5.7	-	3.7	3.6	-	0.016	0.001	0.003	-	
	比較例	40	0.010	0.55	1.34	0.015	0.001	11.9	5.5	-	3.2	4.2	-	0.016	*0.055	0.003	Mg:0.007

注1) 残部は、Feおよび不可避免的不純物である。

注2) *印は、本発明で規定する範囲を外れることを示す。

【0042】そして、得られた溶接継手の母材部から、長手方向が圧延方向の直径4mm、標点間距離20mmの丸棒引張試験片を採取して引張試験に供し、0.2%耐力(MPa)を調べた。

【0043】また、母材部と溶接部とから、長手方向が圧延方向と直交する方向のJIS Z 2202に規定される4号試験片をそれぞれ採取してシャルピー衝撃試験50に供し、破面遷移温度VTrs(°C)を調べた。なお、

溶接部からの試験片は、溶接ボンド部（溶融した部分と溶融していない部分の境界）がVノッチ部に位置するように採取した。

【0044】さらに、母材部と溶接部とから、長手方向が圧延方向と直交する方向の厚さ2mm、幅10mm、長さ75mmの腐食試験用の試験片をそれぞれ2個ずつ採取し、下記条件の4点曲げ応力付与腐食割れ試験に供し、耐食性（耐硫化物応力割れ性）を調べた。なお、溶接部からの試験片は、上記の溶接ボンド部が長手方向の中央に位置するように採取した。

【0045】《腐食試験条件》

試験溶液：30atmCO₂-0.1atmH₂S飽和、5%NaCl水溶液、

* 温度：80℃、

負荷応力：母材耐力の100%、

浸漬時間：720時間。

【0046】耐食性の評価は、試験により、2個の試験片ともに割れの発生が認められなかったものを良好「○」、2個中1個に割れの発生が認められたものをやや不芳「○×」、2個ともに割れの発生が認められたものを不芳「××」とした。

【0047】以上の調査結果を、表3にまとめて示した。

【0048】

【表3】

*

区分	No.	母材の特性			溶接部影響部の特性	
		耐力 (MPa)	靱性 vTrs(℃)	耐食性	靱性 vTrs(℃)	耐食性
本 発 明 例	1	599	-76	○	-51	○
	2	626	-95	○	-74	○
	3	564	-93	○	-64	○
	4	561	-99	○	-74	○
	5	601	-87	○	-63	○
	6	625	-72	○	-58	○
	7	553	-72	○	-51	○
	8	587	-88	○	-59	○
	9	623	-78	○	-62	○
	10	589	-82	○	-68	○
	11	563	-91	○	-80	○
	12	589	-73	○	-55	○
	13	568	-96	○	-83	○
	14	625	-91	○	-56	○
	15	581	-102	○	-88	○
	16	630	-70	○	-53	○
	17	572	-74	○	-52	○
	18	615	-100	○	-65	○
	19	577	-77	○	-67	○
	20	612	-109	○	-91	○
	21	594	-71	○	-56	○
	22	574	-76	○	-53	○
	23	614	-89	○	-77	○
	24	603	-80	○	-57	○
	25	574	-98	○	-63	○
	26	571	-75	○	-50	○
	27	600	-72	○	-51	○
	28	588	-97	○	-77	○
	29	637	-70	○	-55	○
	30	577	-107	○	-82	○
	31	599	-81	○	-56	○
	32	635	-100	○	-69	○
従 来 例	33	515	-42	○	-32	○×
	34	532	-55	○	-37	○×
	35	522	-48	○×	-34	××
比 較 例	36	589	-108	××	-77	××
	37	493	-59	○×	-30	××
	38	461	<-110	○×	<-110	○×
	39	587	-71	○	-15	××
	40	618	-92	○	-11	××

【0049】表3からわかるように、No. 1～32の本発明例の鋼は、APIの80ksi級（0.2%耐力：551MPa以上）の高強度を有しながら、母材および溶接部の靱性と耐食性がともに良好であった。

【0050】これに対し、No. 33～35の従来鋼（2相ステンレス鋼）は、いずれも強度が低く、靱性も劣っているだけでなく、耐食性も不十分で、特に溶接部の耐食性が劣っていた。

【0051】また、化学組成が本発明で規定する範囲を外れるNo. 36～40の比較例の鋼のうち、No. 36の鋼は強度と靱性は良好なものの、Mo量が少ないうえに、耐食性が2相ステンレス鋼より劣っていた。No. 37の鋼はMo量が多すぎるうえに、Coを含まないためにδフェライトが生成し、強度と靱性が低いだけでなく、耐食性も劣っていた。No. 38の鋼は本発明で規定する量のMoとCoを含むものの、Ni量が本発明で規

定する範囲の上限を外れて過剰なために、Ms点が室温付近まで低下した。その結果、残留オーステナイト相が多く、韌性はすこぶる良好なものの、強度が低く、耐食性も劣っていた。No. 39～40の鋼はCまたはNの量が本発明で規定する範囲の上限を超えて過剰なために、母材の強度、韌性、耐食性は良好なものの、溶接部の韌性が極めて悪いのに加え、耐食性も劣っていた。

【0052】なお、上記の試験結果は、板材を対象とした結果であるが、試験材が鋼管や形鋼および棒鋼などであっても同様の結果が得られることはいうまでもない。

【0053】

【発明の効果】本発明のマルテンサイト系ステンレス鋼

は、高強度かつ高韌性でありながら高価な2相ステンレス鋼に勝る耐食性を有している。このため、従来は2相ステンレス鋼の使用が必須とされていた部分に用いることができ、高強度であることから部材の薄肉化が図れ、材料の使用量が少なくて済んで、2相ステンレス鋼を用いる場合に比べ、結果的に安くつく。また、機器装置の軽量化も図れる。

【0054】また、本発明鋼は、母材だけでなく、溶接部の性能も良好であり、油井管に限らず溶接して使用されるフローラインやラインパイプなどの用途に用いて極めて有効である。